



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Placering af trykmåler til bølgemåling

Kramer, Morten Mejlhede

Publication date:
2005

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Kramer, M. (2005). Placering af trykmåler til bølgemåling: Wave Star, Nisum Bredning. Aalborg: Department of Civil Engineering, Aalborg University. (Hydraulics and Coastal Engineering; Nr. 21).

General rights

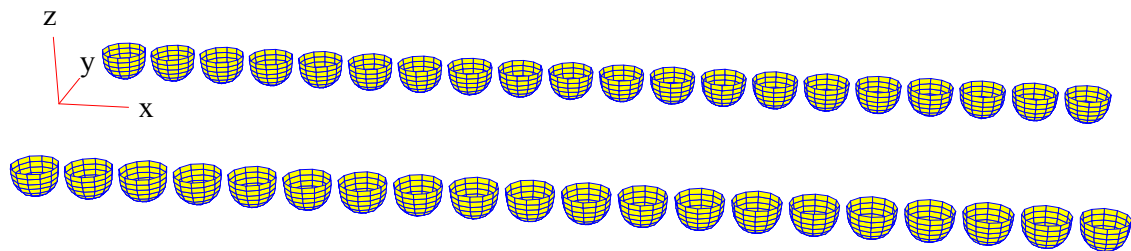
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Placering af trykmåler til bølgemåling – Wave Star, Nissum Bredning



Morten Kramer

April, 2005



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

AALBORG UNIVERSITY

SOHNGAARDSHOLMSVEJ 57 DK-9000 AALBORG DENMARK

TELEPHONE +45 96 35 80 80 TELEFAX +45 98 14 25 55

Hydraulics and Coastal Engineering No. 21

ISSN: 1603-9874

Placering af trykmåler til bølgemåling

Wave Star, Nisum Bredning

Morten Kramer

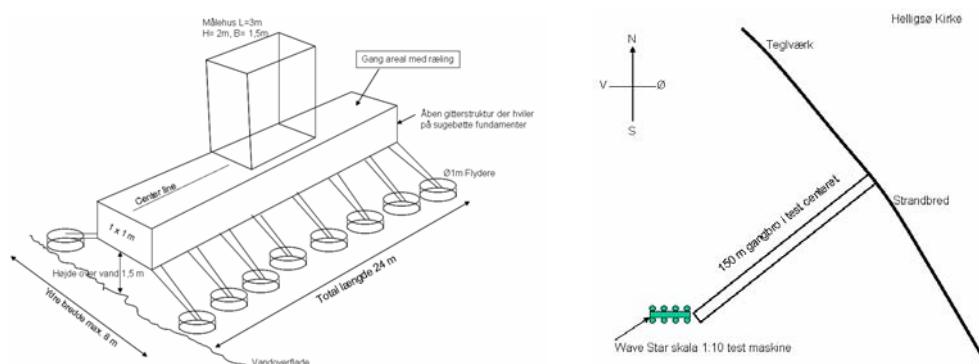
Indholdsfortegnelse

1	Indledning.....	5
1.1	Variable.....	6
2	Anvendt teori.....	6
2.1	Afgrænsninger og forudsætninger	6
3	Detaljerede data	7
4	Normering af variable	7
5	Elementantal i de numeriske modeller	8
6	Resultater.....	9
7	Konklusion.....	11
8	Referencer.....	11
 Appendiks A: Bølgelængdeberegning.....		12
Appendiks B: Transferfunktion mellem tryk og overflade.....		13

1 Indledning

Til opmåling af bølger ved Wave Star, Nissum Bredning skal anvendes en trykmåler. Trykmåleren tænkes placeret i maskinens umiddelbare nærhed, således maskinens forankringssystem kan anvendes til montering af trykmåleren. Målingerne vil ved en sådan placering påvirkes af tilstedeværelsen af maskinen i bølgebilledet. Men i hvor stor grad vil trykmålingerne ændres ved forskellige placeringer af trykmåleren? Dette skrift har til formål at belyse dette spørgsmål med henblik på valg af placering.

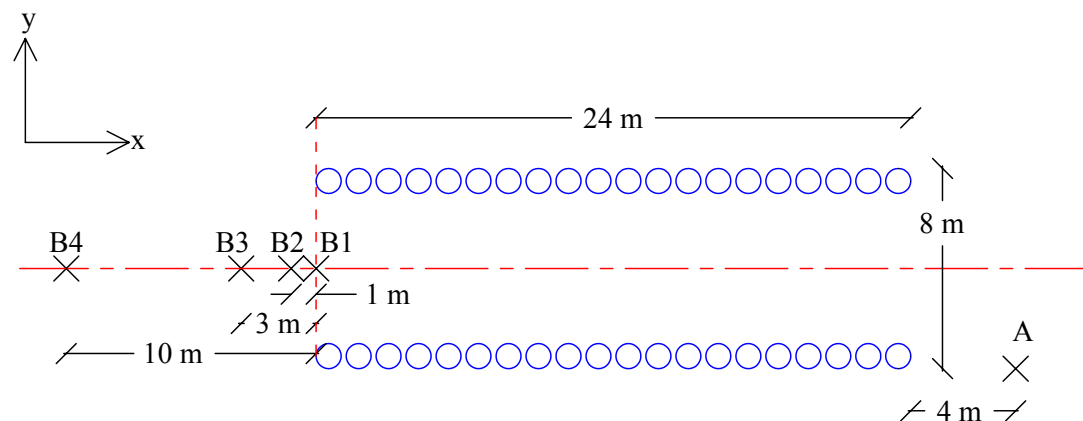
Den nøjagtige placering af flyderne er endnu ikke fastlagt, men det er i nærværende skrift valgt at regne på et system af 40 stk. Ø1048 mm flydere placeret således maskinens udstrækning omtrent er 24 X 8m, se Figur 1 og Figur 2. Maskinen orienteres med centeraksen Øst-Vest, således x-aksen på Figur 2 peger i østlig retning.



Figur 1. Layout og placering af maskinen. Tegninger udarbejdet af Per Resen Steenstrup.

Beregningerne gennemføres for punkter, hvor trykmåleren eventuelt kan placeres. Punktet A anvendes for en placering på den sydlige af stolperne på den eksisterende gangbro. Den nøjagtige placering af denne stolpe i forhold til maskinen er ikke kendt, men her anvendes en afstand på 4 meter mellem punktet og yderkanten af maskinens sydøstligste flyder, se Figur 2.

Punkterne B1, B2, B3 og B4 placeres langs maskinens centerakse med punkt B1 i snittet svarende til den vestligste yderkant af flyderne. Punkt B2 er placeret 1 m mod vest, Punkt B3 er placeret 3 m mod vest, og Punkt B4 er placeret 10 m mod vest. Punkterne B1-B3 tænkes forankret på de to vestlige ben som udgør sugerbøttefundamentet. Punkt B4 tænkes forankret på en særskilt forankringspæl.



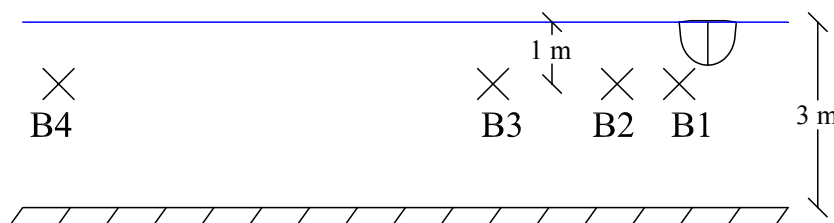
Figur 2. Placering af de undersøgte punkter. Blå cirkler markerer flyderne.

1.1 Variable

Generelt antages følgende variable især at have betydning for trykændringerne pga. maskinens tilstedeværelse:

- Bølgeretningen
- Bølgeperioden
- Vanddybden
- Placeringen af punktet

Bølgeretningen kan variere i et bredt interval. Beregningerne gennemføres for 3 bølgeretninger: $\theta = 0^\circ$ (udbredelse i x-aksens positive retning), $\theta = 30^\circ$ og $\theta = 60^\circ$. Bølgeperioden har stor indflydelse på trykændringerne, da denne har stor indvirkning på størrelsen af reflektioner og diffraktionsmønstre. Bølgeperioden i Nisum bredning er i henhold til Kramer (2005) hovedsageligt mellem 1.5 og 4.5 sekunder. Trykmåleren tænkes placeret 1 meter under vandspejlsniveau, således der opnås stor følsomhed. Vanddybden kan imidlertid variere afhængigt af vejrforholdene. Kramer & Kofoed (2004) har foretaget lignende beregninger med henblik på placering af trykmåler ved Wave Dragon - Nisum Bredning. Disse beregninger viser, at ændringer i vanddybden kun har en lille indvirkning på ændringer i forstærkningsfaktorerne. Det er derfor i dette skrift valgt at foretage beregningerne for en konstant vanddybde på 3 m, hvorved placeringen af trykmåleren er 2 meter over havbunden, se Figur 3. Det bemærkes, at den aktuelle vanddybde på lokaliteten endnu ikke kendt.



Figur 3. Skitse med placering af punkter i forhold til vanddybden.

2 Anvendt teori

Potentialteoretiske beregninger vil med rimelig nøjagtighed kunne belyse problemstillingen. Der anvendes en numerisk potentialteoretisk metode, hvor strømningsfeltet løses korrekt i 3D. Metoden benytter den såkaldte kilde/dræn-teknik, hvorved potentialet kan beregnes i vilkårlige punkter ud fra beregnede kildestyrker. For yderligere information vedr. potentialteori og kilde/dræn-teknik henvises til gængs standard litteratur inden for bølgehydraulikken.

Der benyttes 1. ordens teori hvor Laplace-ligningen løses korrekt til middelvandspejlet. Trykvariationer i et punkt kan f.eks. herved beskrives ved en cosinus-bevægelse.

2.1 Afgrænsninger og forudsætninger

Beregningerne gennemføres for fastholdte stillestående flydere. Der ses således bort fra de bølger (trykvariationer) som genereres når flyderne er i bevægelse.

Beregningerne gennemføres for konstant vanddybde uden hensyntagen til den aktuelle udformning af havbund og kystformen.

I beregningerne er udelukkende flyderne tilstede i bølgebilledet, således er øvrige konstruktioner såsom sugerbøttefundamenterne ikke modelleret.

3 Detaljerede data

Der regnes i et koordinatsystem med horisontale akser $X, Y = (0,0)$ i Punkt B1 og den vertikale akse Z regnet positiv opad med nulpunkt ved vandspejlet. Koordinaterne for punkterne er herved angivet i Tabel 1. Beregningerne er suppleret med et "Punkt B5", som er interessant, såfremt der vælges en placering langt fra maskinen.

Tabel 1. Placering af punkter. Mål i meter.

Punkt	X	Y	Z
A	28.0	-4.0	-1.0
B1	0.0	0.0	-1.0
B2	-1.0	0.0	-1.0
B3	-3.0	0.0	-1.0
B4	-10.0	0.0	-1.0
B5	-100	0.0	-1.0

Beregningerne gennemføres for regelmæssige bølger med perioder som angivet i Tabel 2. Beregningerne er udover normalt forekommende bølger suppleret med en meget lang bølge med $T = 100$ s. For den meget lange bølge vil flydernes tilstedeværelse ikke forstyrre bølgebilledet, hvorved resultaterne for denne periode er velegnet til at kontrollere beregningerne.

Tabel 2. Undersøgte bølger. Bølgelængden er angivet for vanddybden $h = 3.00$ m.

Periode T (s)	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	100
Frekvens f (Hz)	0.67	0.50	0.40	0.33	0.29	0.25	0.22	0.01
Bølgelængde L (m)	3.5	6.2	9.4	12.7	15.9	19.0	22.0	543

4 Normering af variable

Potentialet i et uforstyrret bølgefelt for en regelmæssig bølge kan beskrives:

$$\varphi_i = -\frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t)$$

Hvor g : Tyngdeaccelerationen
 H : Bølgehøjden
 ω : Cirkulær bølgefrequens
 k : Bølgetallet
 h : Vanddybden
 t : Tidspunkt
 x : Sted

En konstruktion placeret i bølgefeltet vil imidlertid forstyrre dette bølgefelt, således det samlede potentiale kan skrives som en sum af φ_i og det spredte potentiale φ_s , herved:

$$\varphi_{\text{samlet}} = \varphi_i + \varphi_s$$

Normeres φ_{samlet} med φ_i forsvinder indvirkningen af f.eks. bølgehøjde og tyngdeaccelerationen, hvorved denne forstærkningsfaktor kan skrives:

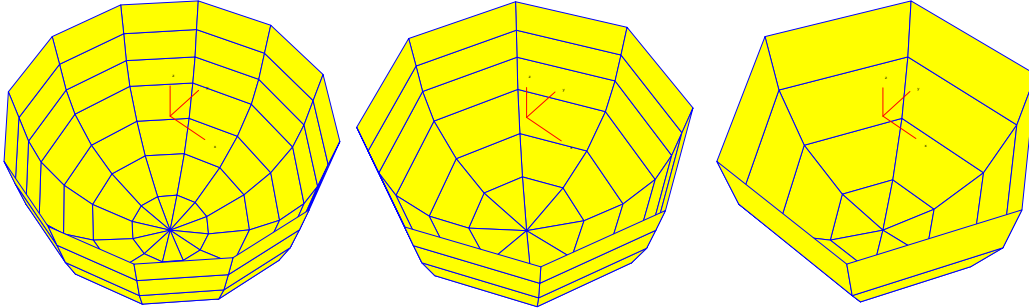
$$\text{Forstærkning} = (\varphi_i + \varphi_s) / \varphi_i$$

Denne forstærkningsfaktor har værdien 1 såfremt konstruktionen ikke påvirker bølgebilledet. Dette er tilfældet for lange bølger uanset hvilket punkt der betragtes, samt for punkter langt fra konstruktionen.

Forstærkningsfaktoren er ens for potentiale og tryk (p^+).

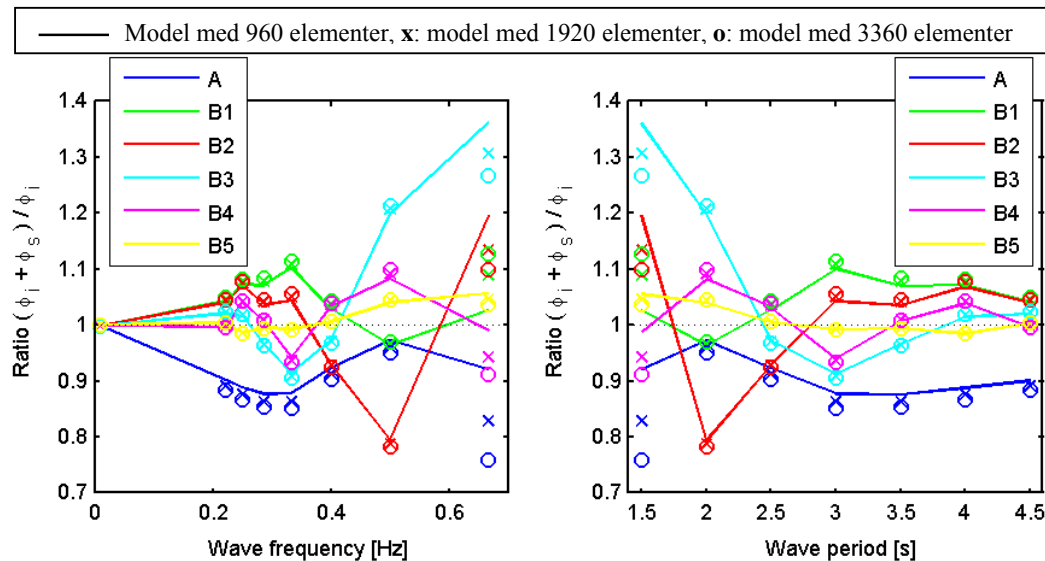
5 Elementantal i de numeriske modeller

Den numeriske beregningsnøjagtighed afhænger af elementantallet. Der er anvendt tre modeller til konvergensanalyse; den fineste model har 3360 elementer (84 elementer pr. flyder), den næst-fineste 1920 elementer (48 elementer pr. flyder) og den mindst fine 960 elementer (24 elementer pr. flyder), se Figur 4.



Figur 4. Elementinddeling til konvergensanalyse for én flyder med hhv 84, 48 og 24 elementer.

Forstærkningsfaktorerne beregnet i punkterne er sammenlignet i Figur 5. Det fremgår, at kurverne og punkterne markeret med "x" og "o" er sammenfaldende for bølgeperioder ≥ 2 s. Modellen med 960 elementer har således et tilstrækkeligt elementantal til at opnå ønsket præcision for bølgeperioder ≥ 2 s. Det vurderes, at modellen med 960 elementer er tilstrækkelig præcis også for de øvrige bølgeretninger.



Figur 5. Resultat af konvergensanalyse for bølgeretning $\theta = 0^\circ$.

Det bemærkes af graferne i Figur 5, at samtlige forstærkningsfaktorer går mod 1 for frekvenser gående mod nul. Dvs. maskinens indflydelse på forstærkningsfaktoren er minimal i meget lange bølger.

6 Resultater

Som omtalt indledningsvis, er forstærkningsfaktorerne især afhængige af bølgeretning og periode. I Figur 6 er forstærkningsfaktorerne angivet for de undersøgte punkter med hensyn til disse variable, hvorefter der følger:

Punkt A:

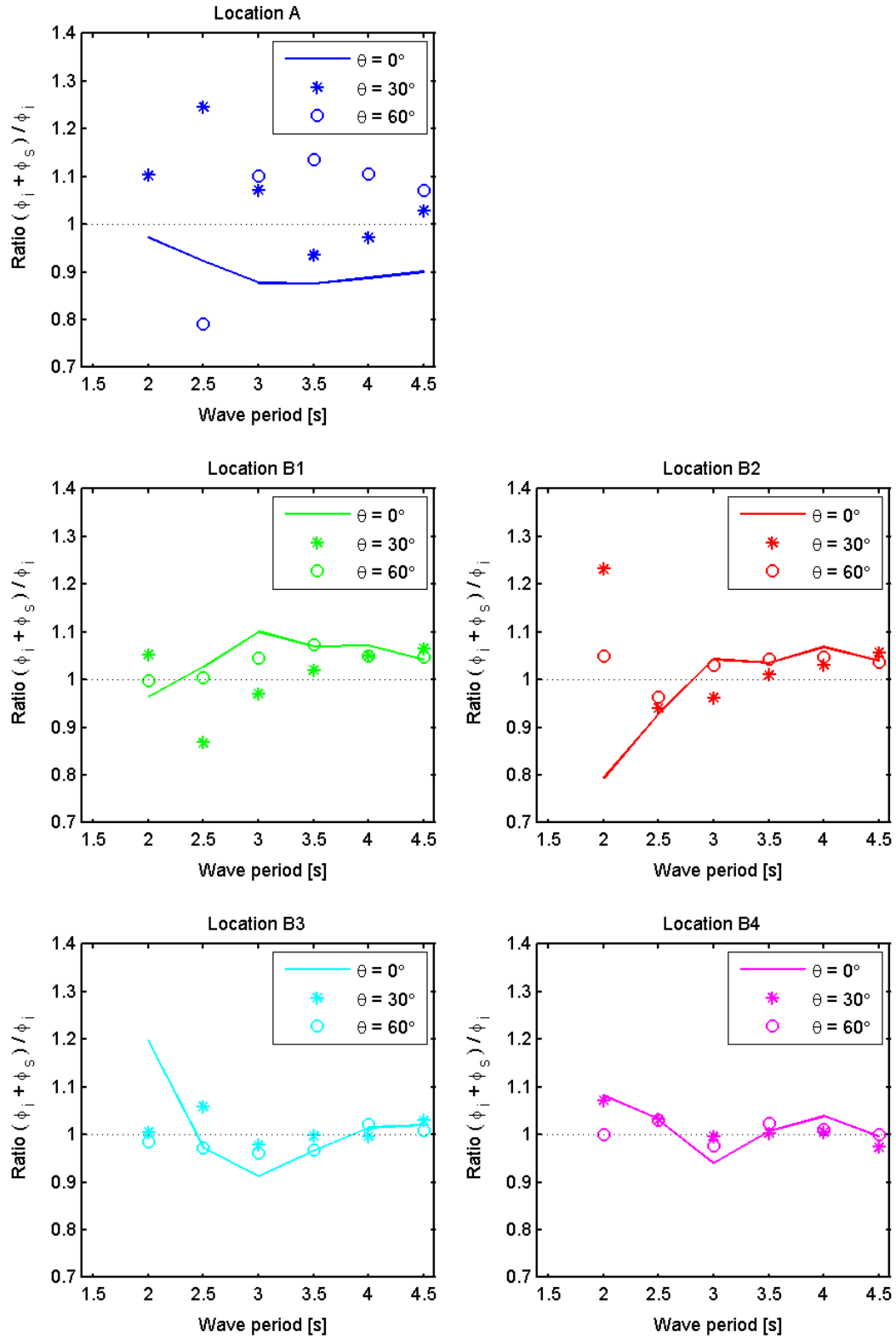
- Forstærkningsfaktoren er generelt afhængig af både bølgeperioden og bølgeretningen.
- For $\theta = 0^\circ$ er forstærkningsfaktoren $\ll 1$, dvs. der optræder markante skyggeeffekter uanset bølgeperioden.
- For $\theta > 0^\circ$ optræder afhængigt af bølgeperioden skyggeeffekter eller forstærkninger.

Punkt B1 og B2:

- For bølgeperioder ≤ 3 sekunder er forstærkningsfaktoren meget afhængig af bølgeperioden og retningen
- For bølgeperioder > 3 sekunder spores en lille forstærkning, som dog ikke er væsentligt afhængig af bølgeretningen.

Punkt B3 og B4:

- Forstærkningsfaktoren er generelt kun svagt afhængig af bølgeperioden og retningen. Kun for Punkt B3 optræder for $\theta = 0^\circ$ ved bølgeperioden 2,0 sekunder stor forstærkning.



Figur 6. Forstærkningsfaktorer ved forskellige placeringer.

7 Konklusion

Trykmåleren skal placeres på en praktisk let og billig måde, således korte kabeltræk kan opnås og anvendelse af eksisterende forankring eventuelt er mulig. En placering tæt på maskinen vil imidlertid medføre, at maskinens tilstedeværelse forstyrrer målingerne. Omvendt bør placeringen ikke være så langt fra maskinen, at bølgeforholdene er anderledes f.eks. pga. lokale ændringer i bundtopografi eller kystform.

En placering på den eksisterende gangbro (Punkt A) vil medføre store skyggevirkninger fra anlægget for bølger fra vestlig retning ($\theta = 0^\circ$). For bølger fra andre retninger vil anlægget forstyrre bølgerne meget, således vil der optræde både forstærkninger af bølgehøjderne og formindskelser af bølgehøjderne afhængigt af de aktuelle bølgeforhold (bølgeperioden og bølgeretningen). Placeringen på broen anses derfor for uegnet.

For en placering imellem de to forreste vestligste flydere (Punkt B1) eller umiddelbart 1 meter foran flyderne (Punkt B2) viser beregningerne, at der optræder store forstyrrelser fra maskinen for bølger med perioder på 3 sekunder eller mindre. Bølgerne i Nisum Bredning er i henhold til Kramer (2005) 3 sekunder eller mindre i mindst 80 % af året. En placering ved Punkt B1 eller B2 vil således medføre en væsentlig indvirkning fra maskinen på måleresultaterne.

Placeringerne 3 m foran maskinen (Punkt B3) og 10 m foran maskinen (Punkt B4) er forstyrrelserne fra maskinen generelt moderate. Således viser beregningerne, at forstærkningsfaktoren generelt er omtrent 1 uanset bølgeperioden og retningen, omend Punkt B4 er mere velegnet end Punkt B3 især for de korte bølger.

Beregningerne er gennemført for fastholdte stillestående flydere. Der er således set bort fra de trykvariationer som genereres, når flyderne er i bevægelse. Disse bølger vil give anledning til større trykvariationer end angivet i dette skrift. Beregningerne bør således udelukkende anvendes til vurdering af placeringernes egnethed.

Det er forfatterens vurdering, at trykmåleren bør placeres minimum 3 meter foran maskinen i vestlig retning.

8 Referencer

Kramer, M. (2005). Bølgeforhold i Nisum Bredning ved test-site. Power Point præsentation i forbindelse med møde på Aalborg Universitet 2. februar 2005. Tilgængelig via www.civil.aau.dk/~i5mkr/ws

Kramer, M., Kofoed, J.P.K (2004). Placering af trykmåler til bølgemåling – Wave Dragon, Nisum Bredning. Hydraulics and Coastal Engineering No. 6. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.

Appendiks A: Bølgelængdeberegning

Lineær bølgeteori betegnes også ofte 1. ordens bølgeteori. Bølgelængden kan efter lineær bølgeteori bestemmes vha. dispersionsligningen. Denne er opskrevet i lidt forskellige udgaver i (1).

$$\begin{aligned}
 \omega^2 &= gk \tanh(kh) \\
 \Updownarrow \\
 c &= \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \\
 \Updownarrow \\
 L &= \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)
 \end{aligned} \tag{ 1 }$$

k er bølgetallet, $k = 2\pi/L$

ω er cyklisk frekvens, vinkelhastighed, $\omega = 2\pi/T$

c er bølgeformens udbredelseshastighed, fasehastigheden, $c = L/T$

L er bølgelængden

T er bølgeperioden, $T = 1/f$ (f er frekvensen)

h er vanddybden

g er tyngdeaccelerationen, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Kendes vanddybden og bølgeperioden kan bølgelængden findes ved iteration i f.eks. den nederste ligning i (1). Såfremt vanddybden er stor i forhold til bølgelængden betegnes tilstanden som *dybt vand*. Bølgen vil på dybt vand ikke kunne mærke havbunden og partikelbevægelserne i bølgerne vil følge cirkelbaner. Da $\tanh(x) \rightarrow 1$ for $x \rightarrow \infty$, altså

for $h/L \rightarrow \infty$, kan (1) på dybt vand skrives som $L = \frac{gT^2}{2\pi} \cong 1.56T^2$.

Appendiks B: Transferfunktion mellem tryk og overflade

p^+ for en regelmæssig bølge beregnes ud fra:

$$p^+ = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(\omega t - kx)$$

Hvor ρ : Densiteten
 g : Tyngdeaccelerationen
 H : Bølgehøjden
 k : Bølgetallet, $k = 2\pi/L$ (L er bølgelængden)
 h : Vanddybden
 z : Position under vandspejlet (negativ)
 ω : Cirkulær bølgefrekvens
 t : Tidspunkt
 x : Sted

Divideres p^+ med overfladeelevationen $\eta = \frac{H}{2} \cos(\omega t - kx)$ fås følgende transfer funktion for overfladeelevation til p^+ :

$$\text{Transfer funktion} = \rho g \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}$$

p^+ måles ofte direkte i meter vandsøjle, således ρg kan udelades:

$$\text{Transfer funktion (meter vandsøjle)} = \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}$$

For at beregne transfer funktionen skal bølgelængden beregnes. Bølgelængden beregnes som angivet i Appendiks A. Transferfunktion er angivet i Tabel 3 for $h = 3.0$ m og $z = -1.0$ m. Det fremgår for eksempel af tabellen, at for $T = 1.50$ s er $K = 0.17$. Dette betyder med andre ord, at den målte trykvariation 1 meter under overfladen er 17% af trykket svarende til fuldt udviklet hydrostatisk tryk.

Tabel 3. Transferfunktion mellem tryk og overfladeelevation. $P^+ = K \cdot \eta$, K er transferfunktionen.

Periode T (s)	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	100
Bølgelængde L (m)	3.5	6.2	9.4	12.7	15.9	19.0	22.0	543
Bølgetal k	1.80	1.01	0.67	0.49	0.40	0.33	0.29	0.01
Transferfunktion K	0.17	0.37	0.54	0.66	0.74	0.80	0.84	1.00